

ПАТОБИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭНДОСКОПИЧЕСКИ АССИСТИРУЕМОЙ МИКРОДИСКЭКТОМИИ НА ГРУДНОМ ОТДЕЛЕ ПОЗВОНОЧНИКА

*П.В. Кротенков¹, Г.А. Оноприенко¹, А.М. Киселев¹, А.В. Кедров¹, Е.А. Степанова¹, Л.Е. Гаганов¹,
Н.С. Гаврюшенко²*

¹ГУ Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского (МОНИКИ)

²ФГУ Центральный институт травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова (ЦИТО)

Изучены в теории и эксперименте ортопедические последствия модифицированной переднебоковой микродискэктомии в свете концепций Denis и Benzel. Эксперимент включал проведение грудной микродискэктомии на 18 кадаверах и забор 72 позвоночных двигательных сегментов. Проведены биомеханические испытания их прочностных характеристик с нагрузкой. Оказалось, что после модифицированной микродискэктомии происходит незначительное снижение опороспособности грудного позвоночного двигательного сегмента и, следовательно, нет необходимости в дополнительной стабилизации оперированного сегмента позвоночника имплантатами или трансплантатами.

Ключевые слова: биомеханика, опороспособность, грудной отдел позвоночника, микродискэктомия, грыжа грудного межпозвонокового диска.

PATHOBIOMECHANICAL FEATURES OF ENDOSCOPY-ASSISTED THORACIC MICRODISKECTOMY

P.V. Krotenkov¹, G.A. Onoprienko¹, A.M. Kiselev¹, A.V. Kedrov¹, E.A. Stepanova¹, L.E. Gaganov¹, N.S. Gavrushenko²

¹M.F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical and Research Institute (MONIKI)

²N.N. Priorov Central Institute of Traumatology and Orthopedics

Orthopedic consequences of a modified anterolateral microdiskectomy were studied in theory and practice in the light of Denis and Benzel concepts. Experiment included thoracic microdiskectomy on 18 cadavers and extraction of vertebral motor segments. Their support capacity under load was biochemically tested. We revealed that after modified microdiskectomy, only a slight reducing of support capacity of the thoracic vertebral motor segment was seen and, therefore, the additional stabilization of the operated motor segment with implants and transplants wasn't needed.

Key words: biomechanics, support capacity, thoracic spine, microdiskectomy, hernia of the thoracic intervertebral disk.

Традиционные хирургические доступы для лечения грыж грудных межпозвоноковых дисков сопровождаются удалением значительного объема опорных структур грудного отдела позвоночника. Это создает предпосылки для развития послеоперационных ортопедических и неврологических осложнений в виде нестабильности оперированного позвоночно-двигательного сегмента (ПДС), кифотической деформации и вторичной компрессии спинного мозга [1, 3]. Подобные осложнения декомпрессивных операций заставляют хирургов выбирать один из двух возможных путей решения этой проблемы: стабилизация оперированного сегмента позвоночника имплантата-

ми и/или трансплантатами – как завершающий этап декомпрессивной операции, либо использование наименее инвазивных хирургических методик, сопровождающихся минимально возможным удалением опорных структур, что сохраняет стабильность оперированного ПДС [1-3].

Разработанная нами методика переднебоковой микродискэктомии на грудном отделе позвоночника с использованием микрохирургической техники и видеоэндоскопической ассистенции¹ позволило минимизировать объем остеолигаментарной резекции

¹ Способ хирургического лечения грыж грудного отдела позвоночника. Патент № 231146 // Бюл. изобретений 2007, № 33.

в пределах позвоночного сегмента. При этом частично или полностью удаляется головка ребра, задняя треть межпозвоночного диска и частично – задние края тел смежных позвонков [1, 2]. Такой объем резекции, по нашему мнению, минимально отражается на опороспособности оперируемого позвоночно-двигательного сегмента и не требует дополнительной стабилизации позвоночника.

Для предупреждения потенциально деструктивного и дестабилизирующего эффекта применяемого оперативного доступа были изучены ортопедические особенности микродискэктомии на грудном отделе позвоночника.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Были изучены особенности патобиомеханики эндоскопически ассистируемой грудной микродискэктомии в экспериментальных условиях.

Теоретическое обоснование

Согласно трехстолбовой теории опороспособности позвоночника, предложенной Denis, нестабильность ПДС наблюдается при повреждении двух и более опорных «столбов» [7]. Позднее N. Yoganandan и соавт. показали, что нестабильность возникает в преде-

лах не только позвоночного сегмента, но и отдельного «столба», например, при повреждении отдельных связок, которое приводит к появлению патологического объема движений [13]. E.C. Benzel развил эту идею и предложил модель, рассматривающую тело позвонка (в пределах переднего и заднего опорного «столба»), в виде «куба», состоящего из меньших по размеру 27 кубов [5]. Эта модель представляется наиболее удачной для оценки ортопедических последствий передних и боковых доступов к грудному отделу позвоночника (рис. 1). Так, потеря средней горизонтальной трети «куба» в сагиттальной плоскости приводит к дестабилизации и кифозу – потере среднего и переднего «столбов» (рис. 1,а), тогда как подобные изменения в коронарной плоскости нестабильности не вызывают (рис. 1,б). Удаление вентральной трети «куба» (передние 9 кубов) приводит к нестабильности (рис. 1,в), а удаление дорсальной и медиальной третей «куба» в коронарной плоскости при сохранении вентральной части подобных явлений не вызывает (рис. 1,г). Таким образом, для сохранения стабильности оперированного сегмента при выполнении микродискэктомии на грудном отделе позвоночника, декомпрессия дурального мешка должна сопровождаться удалением наиболее дорсальной части тела позвонка (в пределах девяти задних кубов). Остеолигаментарная резекция не должна включать вентральную часть позвонка, допустимо частичное удаление средней трети тела позвонка.

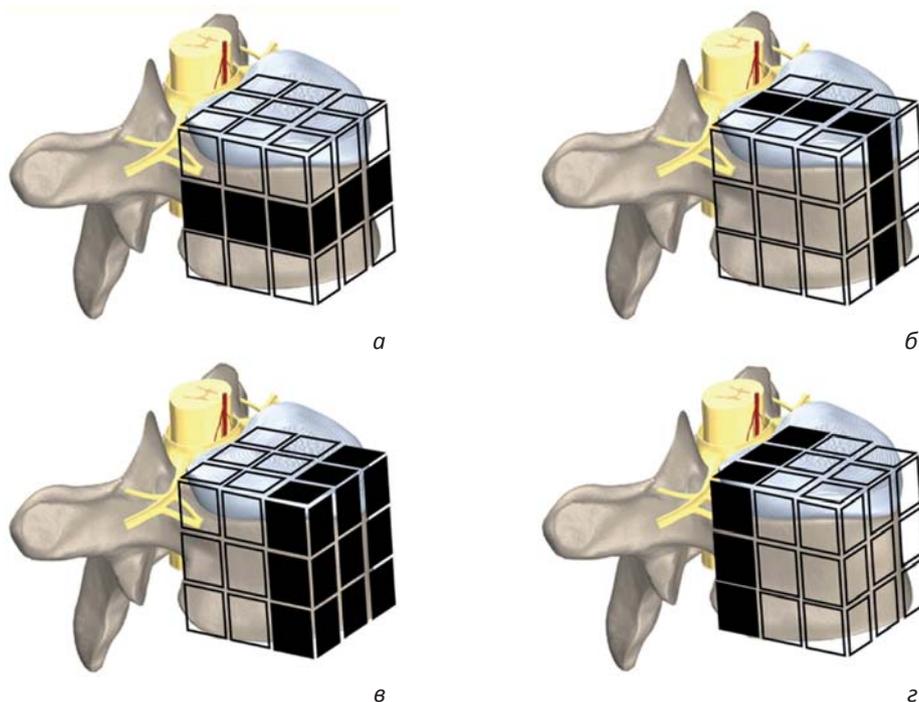


Рис. 1. Биомеханическая модель грудного позвонка по Benzel:

а – резекция средней трети позвонка в сагиттальной плоскости; б – резекция средней трети позвонка в коронарной плоскости; в – резекция вентральной трети позвонка в коронарной плоскости; г – резекция дорсальной трети позвонка в коронарной плоскости

В соответствии с данной концепцией нами разработана методика микродискэктомии, направленная на максимальное сохранение анатомических структур в пределах опорного «столба», в области которого ведется оперативное вмешательство. При этом резецируются лишь головка ребра (полностью или частично) и задняя треть межпозвонкового диска (рис. 2).

По нашему мнению, объем остеолигаментарной резекции, проводимый при микродискэктомии по предложенной методике, не способен вызвать явлений послеоперационной нестабильности в грудном позвоночно-двигательном сегменте.

Данное предположение было проверено нами в эксперименте, цель которого – биомеханическое (in vitro) исследование опороспособности грудного ПДС до и после микродискэктомии.

Экспериментальное обоснование

Эксперимент проводили в условиях патологоанатомического отделения МОНКИ им. М.Ф. Владимирского и экспериментальной лаборатории ЦИТО им. Н.Н. Приорова. Для исследования было использовано 18 трупов (кадаверов) людей, умерших от онкологических заболеваний, болезней сердечно-сосудистой системы и острых нарушений мозгового кровообращения, без грубых патологических изменений грудного отдела позвоночника. Средний возраст умерших составил 65,8 лет (от 55 до 83 лет). В исследуемой серии было 11 кадаверов мужчин и 7 – женщин.

Из каждого кадавера был извлечен секционный комплекс грудного отдела позвоночника одним блоком от уровня Т4 до Т12. Каждый секционный комплекс был разделён на четыре ПДС соответственно уровням Т4/5, Т6/7, Т8/9 и Т10/11, состоящих из двух позвонков, соединённых межпозвонковым диском и лигаментарным аппаратом. Всего в исследовании использовалось 72 ПДС с четырех соответствующих уровней грудного отдела позвоночника.

Биомеханическое тестирование проходило в три этапа. На первом этапе тестировали интактные грудные ПДС в режиме компрессионной осевой нагрузки (КОН) и компрессионной флексионной нагрузки (КФН). На втором и третьем этапах проводили микродискэктомию на четырех межпозвонковых промежутках (Т4/5, Т6/7, Т8/9 и Т10/11) у 10 кадаверов (по пять кадаверов на каждом этапе) и тестировали ПДС в режиме КОН (второй этап) и КФН (третий этап).

Задачей первого этапа исследования явилось определение прочностных характеристик интактных грудных ПДС в режиме КОН и КФН. Для этого единым блоком были извлечены восемь сегментов грудного отдела позвоночника (от Т4 до Т12) из восьми неконсервированных кадаверов. Каждый сегмент был разделен на четыре ПДС, соответственно межпозвонковым уровням Т4/5, Т6/7, Т8/9 и Т10/11, всего в количестве 32 образцов. Образцы готовились и хранились по общепринятой методологии [10, 11, 12]. С позвонков были убраны мягкие ткани и сохранялись межпозвонковые суставы с лигаментарным аппаратом, суставы и связки головки ребра, реберно-поперечные суставы и связки. Ребро резецировалось на расстоянии 2 см дистальнее реберно-поперечного сустава. После подготовки образцов ПДС их обворачивали в салфетки, смоченные физиологическим раствором, помещали в пластиковый контейнер, затем замораживали и хранили при температуре -5°C до момента дальнейшего использования в исследовании.

Для достоверности исследования и исключения остеопении или остеопороза все образцы ПДС подвергали обзорной рентгенографии (рис. 3,а) и денситометрии с использованием метода двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии на аппарате Gologic Discovery (США). По данным денситометрии, костная плотность образцов, используемых в исследовании, была в пределах нормы и составила в среднем $0,815 \text{ г/см}^2$ ($0,530 - 1,100 \text{ г/см}^2$), что соотносилось с результатами обзорных рентгенограмм.

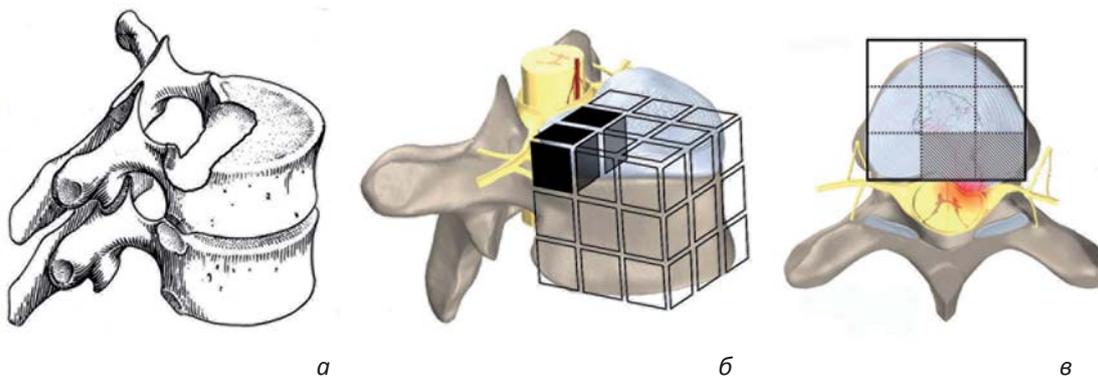
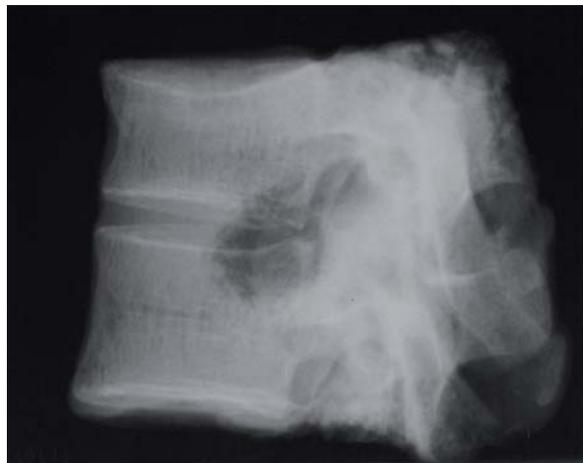
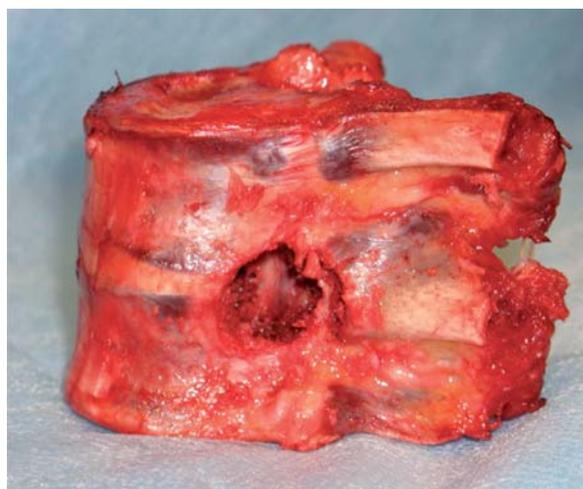


Рис. 2. Модифицированная грудная микродискэктомия: а – схематическое изображение; б, в – модель грудного позвонка по Benzel с иллюстрацией объема остеолигаментарной резекции в ходе микродискэктомии (затемненные участки)



а



б

Рис. 3. Интактный экспериментальный образец грудного позвоночного двигательного сегмента после симулированной микродискэктомии: а – обзорная рентгенограмма; б – образец до тестирования

Все образцы с каждого соответствующего межпозвоночного промежутка были разделены в случайном порядке на две равные группы. Одну группу образцов испытывали в режиме КОН, вторую – в режиме КФН. Разморозку образцов проводили за 20-24 часа до биомеханических испытаний по методике, описанной Е. Тоh и соавт. [12].

Задачей второго этапа исследования явилось определение опороспособности грудных ПДС в режиме КОН после симулированной микродискэктомии, проведенной на четырех межпозвоночных промежутках (Т4/5, Т6/7, Т8/9 и Т10/11) у пяти кадаверов, после чего был проведен забор ПДС с соответствующих уровней – в количестве 20 образцов (рис. 3,б). Образцы готовились, хранились и размораживались непосредственно перед исследованием по методике, описанной выше.

Задачей третьего этапа исследования явилось определение опороспособности грудных ПДС в режиме КФН после симулированной микродискэктомии. Для этого мы провели микродискэктомию на четырех межпозвоночных промежутках (Т4/5, Т6/7, Т8/9 и Т10/11) у пяти кадаверов, после чего выполнили забор ПДС с соответствующих уровней – в количестве 20 образцов.

Биомеханические испытания ПДС проводили на универсальной испытательной машине Zwick-1464 в условиях экспериментальной лаборатории ЦИТО им. Н.Н. Приорова. При определении опороспособности грудных ПДС в режиме КОН мы пользовались методикой, описанной А.К. Морозовым и соавт. [4]. Для этого экспериментальные образцы располагали на испытательном блоке в нейтральном положении: концевые пластинки позвонков параллельны друг другу.

Во время эксперимента определяли предел прочности ПДС в Ньютонах (Н), область упругих (обратимых) и пластических (необратимых) деформаций. Точность определения показателей силы и деформаций находилась в пределах $\pm 1\%$. ПДС подвергали нагрузке в возрастающем режиме до 10 тыс. Н (или до 1 тыс. кг) со скоростью 200 Н/сек (или 20 кг/сек). Позвоночно-двигательные сегменты нагружались до момента регистрации датчиком давления падения предела их прочности, что соответствовало моменту перехода упругих (или обратимых) деформаций в область пластических (или необратимых).

После определения прочностных характеристик ПДС повторно выполняли обзорную рентгенографию с последующим проведением механо-рентгенологических сопоставлений.

При определении опороспособности грудных ПДС в режиме КФН мы пользовались методикой, описанной Е. Тоh и соавт. [12]. Для этого на подвижном компрессионном блоке испытательной машины, соответственно проекции верхней поверхности позвонка устанавливали металлический выступ, имеющий форму треугольника с острым углом 20-22° и высотой 20 мм. Эта методика позволяет симулировать КФН при биомеханических испытаниях, создавая дополнительную нагрузку на переднюю часть тел позвонков. При этом экспериментальные образцы располагались на испытательном блоке в положении флексии: концевые пластинки позвонков располагались под углом друг к другу.

Испытания ПДС в режиме КФН проводили соответственно параметрам, описанным выше. Для статистической обработки полученных данных использовалась методика проверки нулевой гипотезы (χ^2 -тест).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперимент показал, что область упругих деформаций сохранялась при компрессии ПДС до 15% от его

исходной высоты (5-6 мм в абсолютных величинах). Предел прочности ПДС наступал при дальнейшем сжатии до 20%.

Установлено, что предел прочности интактных грудных ПДС составил от 2700 до 3100 Н, что соответствует нагрузке от 270 до 310 кг (среднее значение 2900 Н), тогда как предел прочности грудных ПДС после микродискэктомии составил от 2300 до 2800 Н, что соответствует нагрузке от 230 до 280 кг (среднее значение 2550 Н).

Диаграмма деформации, отражающая поведение ПДС под воздействием нагрузки и динамику его разрушения, представлена на рис. 4.

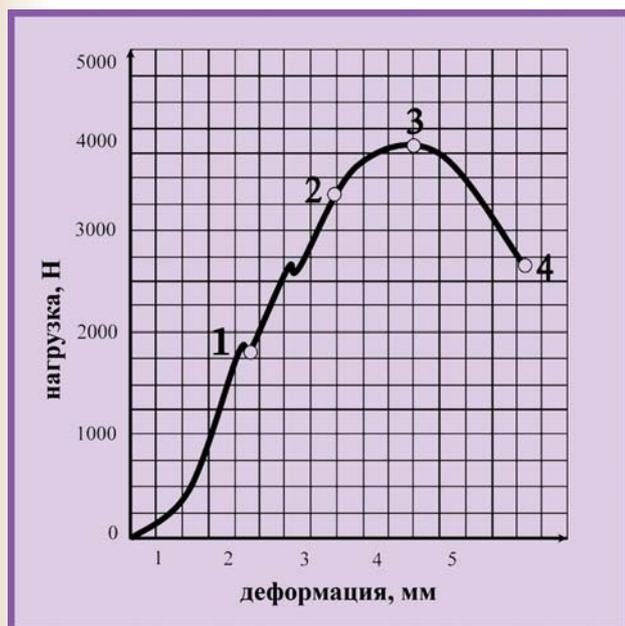


Рис. 4. График деформации грудного позвоночного двигательного сегмента: 1 – перелом концевых пластин; 2 – пропорциональный предел; 3 – прочностной предел; 4 – полное разрушение

Переломы концевых пластин, как правило, являются начальным этапом разрушения и отмечаются на диаграмме в начале области упругих деформаций. Пропорциональный предел указывает на момент перехода упругих (или обратимых) деформаций в область пластических (или необратимых) деформаций. Прочностной предел указывает на момент воздействия максимальной нагрузки, ведущий к необратимому разрушению объекта. Участок полного разрушения знаменует полную потерю целостности объекта. В нашем исследовании грудные ПДС нагружались до регистрации пропорционального предела на диаграмме деформации.

Полученные данные свидетельствуют о том, что область упругих (обратимых) деформаций сохранялась при компрессии грудного ПДС на 12-15% его исходной величины (5-7 мм в абсолютных величинах).

Прочностной предел ПДС наступал при дальнейшей компрессии до 18-22%, после чего сила сопротивления уменьшалась и оставалась примерно постоянной до компрессии ПДС на 40-50%.

Отмечено что задние опорные структуры не играли основной роли в опороспособности ПДС. Во всех экспериментальных группах в первую очередь происходило разрушение тел позвонков, и лишь при компрессии на 25% от исходной высоты ПДС начиналось разрушение задних опорных структур.

На рис. 5 изображены полученные данные прочностных характеристик грудных ПДС до и после микродискэктомии в условиях КФН и КОН. Для интактного ПДС с уровня Т4/5 пропорциональный предел в условиях КОН составил в среднем 2600 Н (2200-3000 Н), в условиях КФН – в среднем 2450 Н (2100-2800 Н). Прочностные характеристики после микродискэктомии составили в среднем 2050 Н (1700-2400 Н), при КОН и при КФН – в среднем 1975 Н (1650-2300 Н).

Для интактного ПДС Т6/7 пропорциональный предел в условиях КОН составил в среднем 2725 Н (2350-3100 Н), в условиях КФН – в среднем 2650 Н (2300-3000 Н). Прочностные характеристики после микродискэктомии составили в среднем 2175 Н (1800-2550 Н) при КОН и при КФН – в среднем 2150 Н (1750-2500 Н) ($p > 0,05$).

Пропорциональный предел для интактного ПДС Т8/9 в условиях КОН составил в среднем 2900 Н (2500-3300 Н), в условиях КФН – в среднем 2750 Н (2400-3100 Н). Прочностные характеристики после микродискэктомии составили в среднем 2350 Н (2000-2700 Н) при КОН и при КФН – в среднем 2275 Н (1900-2650 Н) ($p > 0,05$).

Интактный ПДС Т10/11 в условиях КОН достиг пропорционального предела и составил в среднем 3200 Н (2800-3600 Н), в условиях КФН – в среднем 3075 Н (2750-3400 Н). Прочностные характеристики после микродискэктомии составили в среднем 2525 Н (2100-2950 Н) при КОН и при КФН – в среднем 2400 Н (2000-2800 Н) ($p > 0,05$).

Установлено что, несмотря на разницу средних значений прочностных характеристик, статистически эти отличия оказались незначимы, что позволяет сделать следующий вывод: о том, что после микродискэктомии происходит незначительное снижение опороспособности грудного ПДС и, следовательно, после этой операции нет необходимости стабилизации оперированного сегмента позвоночника имплантатами или трансплантатами.

В данном исследовании мы наблюдали минимальную потерю опороспособности у грудных ПДС после микродискэктомии по предложенной нами методике. Следует отметить, что эти данные сопоставимы с результатами, полученными некоторыми авторами *in vitro* и *in vivo* [8-13]. Так, G.G. Bros и соавт. в эксперименте по

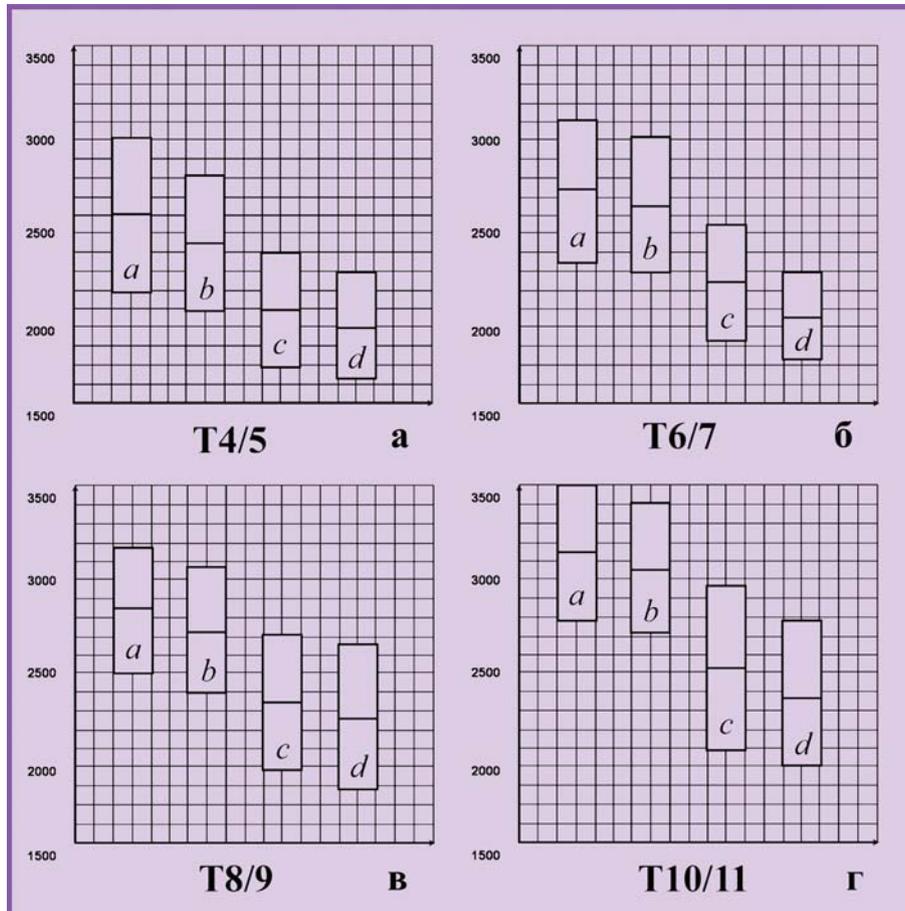


Рис. 5. Диаграмма прочностных характеристик грудных позвоночных двигательных сегментов (ПДС) до и после микродискектомии в условиях компрессионной осевой нагрузки (КОН) и компрессионной флексионной нагрузки (КФН):

а – интактные ПДС после КОН; *б* – интактные ПДС после КФН; *в* – микродискектомия ПДС после КОН; *г* – микродискектомия ПДС после КФН. Столбцы диаграммы показывают максимальное, минимальное и среднее значение для каждой группы образцов ПДС

изучению объема патологической подвижности грудного отдела позвоночника в трех плоскостях после микродискектомии показали, что её дестабилизирующий эффект минимально отражался на механике и кинематике ПДС [6]. W.E. Krauss и соавт. в своем наблюдении 18 пациентов после грудной микродискектомии без корпорореза спустя 6 лет после операции не отметили отрицательных ортопедических и неврологических изменений [9]. Авторы пришли к выводу, что корпорорез необязателен после грудной микродискектомии.

В то же время другими авторами была доказана значимость межпозвонкового диска и реберно-позвоночных сочленений в стабильности грудного ПДС. I. Oda и соавт. [10] и A. Tacheuchi и соавт. [11] в серии биомеханических испытаний грудного отдела позвоночника отметили значительное увеличение патологического объема движений после билатеральной либо расширенной унилатеральной резекции ребер и реберно-позвоночных суставов. M.A. Feiertag и соавт. показали, что комбинация билатеральной резекции реберно-позвоночных суставов и тотальной дискэктомии

увеличивала патологический объем движений в грудном отделе позвоночника, тогда как унилатеральная резекция реберно-позвоночного сустава и лимитированная микродискектомия подобных явлений не вызывала [8].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что ортопедически безопасная грудная микродискектомия должна проводиться с сохранением реберно-позвоночных сочленений и большей части межпозвонкового диска. Допустима частичная резекция головки ребра и задней трети межпозвонкового диска имеющая место в предложенной нами методике микродискектомии. Ее проведение без корпорореза возможно в условиях лимитированной остеолигментарной резекции, сопровождающейся частичной резекцией головки ребра и задней трети межпозвонкового диска. Предложенная нами методика эндоскопически ассистируемой грудной микродискектомии отвечает этим условиям и, согласно полученным экспериментальным данным, минимально отражается на опороспособности грудного отдела позвоночника в условиях как КОН, так и КФН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кротенков П.В., Киселев А.М., Есин И.В. Модифицированный переднебоковой экстраплевральный доступ для хирургического лечения грыж грудных межпозвоноковых дисков // Бюлл. ВСНЦ СО РАМН. 2006. №4 (50). С.140-144.
2. Кротенков П.В., Киселев А.М., Киселев А.А. Использование видеоэндоскопической ассистенции при грудной микродискэктомии посредством заднебоковой экстраплевральной торакотомии // Поленовские чтения / Матер. Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2009. С.152.
3. Луцки А.А., Шмидт И.Р., Пеганова М.А. Грудной остеохондроз. Новосибирск: Турель, 1998. С.280.
4. Морозов А.К., Огарёв Е.В. Гаврюшенко Н.С. Изучение прочностных характеристик тел позвонков до и после пункционной вертебропластики в эксперименте // Вестн. травматол. ортопед. 2006. №4. С.59-63.
5. Benzel E.C. Biomechanics of Spine Stabilization: Principles and Clinical Practice. New York, 1995. P.97-102.
6. Broc G.G., Crawford N.R., Sonntag V.K.H., Dickman C.A. Biomechanical effects of transthoracic microdiscectomy // Spine. 1997. V.22. P.605-612.
7. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries // Spine. 1983. V.8. P.817-831.
8. Feiertag M.A., Horton W.C., Norman J.T. et al. The effect of different surgical releases on thoracic spinal motion. A cadaveric study // Spine. 1995. V.20, No.14. P.1604-1611.
9. Krauss W.E., Edwards D.A., Cohen-Gadol A.A. Transthoracic discectomy without interbody fusion // Surg. Neurol. 2005. V.63, No.5. P.403-408.
10. Oda I., Abumi K., Cunningham B.W. et al. An in vitro human cadaveric study investigating the biomechanical properties of the thoracic spine // Spine. 2002. V.27, No.3. P.64-70.
11. Takeuchi A., Miyamoto K., Hosoe H., Shimizu K. Thoracic paraplegia due to missed thoracic compressive lesions after lumbar spinal decompression surgery. Report of three cases // J. Neurosurg. 2004. V.100, No.1. P.71-74.
12. Toh E., Yerby S.A., Bay B.K. et al. The behavior of thoracic trabecular bone during flexion // Tokai J. Exp. Clin. Med. 2005. V.30, No.3. P.163-170.
13. Yoganandan N., Pintar F., Sances A. Biomechanical investigations of the human thoracolumbar spine // SAE Trans. 1989. V.97. P.676-684.